불평등 전계에서 SF_6 / CF_4 혼합가스의 절연내력과 PD특성

論 文
57-4-15

Breakdown Voltage and PD Characteristics of SF_6 / CF_4 Mixtures in Nonuniform Field

黃 靑 虎† · 成 許 慶* · 許 昌 洙**
(Cheong-Ho Hwang · Heo-Gyung Sung · Chang-Su Huh)

Abstract - New gas mixtures are now finding applications such as interrupting media for high-voltage circuit breakers. These mixtures consist of a high content of carbon tetrafluoride(CF_4) added to sulfur hexafluoride(SF_6). Nowdays SF_6 has been established for the use in gas insulated substations due to its high insulation withstand level and good arc quenching capability. At this paper Breakdown characteristics were investigated for SF_6 / CF_4 mixtures when AC voltage and standard lightning impulse voltage(LI) was applied in a needle - plane electrodes. And partial discharge (PD)experiments were carried out in the test chamber which was made in needle - plane electrode. And Φ -Q-N distribution of partial discharge signals was analyzed. The total pressure of the SF_6 / CF_4 mixtures was varied within the range of 0.1 - 0.5 Mpa in the test chamber. The breakdown voltage in needle - plane electrode displayed N shape characteristics for increasing the content of SF_6 at positive impulse voltage and the PD inception voltage was increased slightly when pressure of SF_6 / CF_4 Mixtures was increased. Maximum PD inception voltage is showed in 80% SF6 / 20%CF_4..

Key Words : Breakdown. AC Voltage, partial discharge (PD), LI, CF_4, SF_6.

1. 서 론

SF_6 가스는 전기적 소호 매체로서 매우 우수한 전기 절연 특성을 가지고 있어 현재 사용되고 있는 대부분의 개폐기, 차단기 및 개폐장치와 일부 변압기의 절연체로 폭넓게 사용되고 있다[1]. 이런 전기 기기들의 내부는 전극 표면의 돌기부나 금속 이물질로 인하여 불평등 전계가 형성되어 부분방전 (partial discharge : PD) 현상 등이 발생하게 되는데, 이런 PD 현상들은 기기의 절연성능을 크게 약화시켜 과전압 공급 시에 방전현상에 큰 영향을 미치고 있어, 현재까지 이에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 그러나 SF_6 가스는 지구 온난화에 미치는 영향이 크므로, SF_6 가스와 같은 전기적 절연 성능이 우수한 새로운 대체가스 개발에 많은 연구가 진행 중이다. 특히 SF_6 가스량을 저감시키기 위해 각기 다른 가스와 혼합하는 방식의 연구가 많이 수행되고 있다[2].

본 연구에 있어서는 이에 필요한 새로운 대체가스로 CF_4 가스를 선정하였으며, SF_6 가스와 CF_4 가스의 혼합비에 따라 절연내력 실험을 실시하였다. 이때 실험에 필요한 각각의 CF_4 가스와 SF_6가스의 물리화학적인 특성은 표 1과 같이 나타내었다. 여기서 각각의 SF_6 가스와 CF_4 가스의 세부적인 특징을 살펴보면, SF_6 가스는 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며 금속 이물질로 인한 국부적인 높은 전계의 상승으로 PD 현상 등이 자주 발생하고, 성층권 오존을 파괴하는 온실가스 물질로 문제점을 가지고 있다. 그러나 PFC 가스 계열인 CF_4 가스는 낮은 온난화지수와 낮은 임계온도를 가지고 있으며, 절연 성능이 높고, 다른 PFC 가스들보다 매우 높은 임계압력에서 액화점을 가지고 있는 것이 특징이다[3.4].

표 1 SF_6 / CF_4 혼합가스의 물리적인 특성
Table 1 Physical characteristics of SF_6 / CF_4 mixtures

구분	SF_6	CF_4
분자량	146.06	88.01
증기밀도	5.1 (공기=1)	3.05(공기=1)
끓는점	-63.8 ℃ (-82.8F)	-128℃ (-198F)
녹는점	-50.5 ℃ (-58.9F)	-187℃ (-304F)
증기압	15751 mmHg (20℃)	799 mmHg (-127℃)
비중	1.67 (-100℃)	1.89
GWP	23900배 (CO_2=1)	6300배 (CO_2=1)
독성	무독성	무독성
폭발성	없음	없음

본 연구에서는 이러한 SF_6 가스에 대한 CF_4 가스의 우수한 장점을 활용하여 대체가스로서의 절연내력 특성을 조사하였다. 특히 과전압 인가 시 발생되는 PD 현상이 절연파괴전압과 많은 관련성이 있기 때문에 임펄스 전압과 AC 전압 및 부분방전과 절연파괴전압의 상관관계를 조사하였다. 또한 절연내력실험은 정극성과 부극성으로 나누어 임펄스 전

† 교신저자, 正會員 : 仁荷大 電氣學科 博士課程
E-mail : hch7642@hanmail.net
* 學生會員 : 仁荷大 電氣工學科
** 正 會 員 : 仁荷大 電氣工學科
接受日字 : 2008年 1月 9日
最終完了 : 2008年 2月 22日

압 하에서 실행하였으며, 절연파괴 전압과 부분방전 개시전압은 각기 달리 비교하였다. PD는 인가 전압의 위상 (Φ), 위상에 따른 방전량 (Q), 위상에 따른 방전횟수(N)를 이용하여 형태적 분석을 하였고, 또한 Φ-Q 분포에 대한 정량적 분석을 통하여 PD 패턴을 분석하였다[5]. 이들 실험은 침대 평판 전극으로 구성된 불평등 전계에서 실행하였다.

2. 실 험

2.1 실험장치

그림 1은 불평등 전계를 형성하기 위한 침대 평판 전극 구조의 실험 장치 개략도를 나타낸 것이다. 여기서 침대 평판 전극은 그 구조상 고전압 도체와 고체 절연물과의 접촉부 등이 존재하여 불평등 전계가 형성되며, 방전전류 측정 시 변위전류 성분을 최소화하기 위해서 상부 평판과 침 전극을 전기적으로 절연하였다. 이 때 침전극의 길이는 6 mm, 곡률반경은 0.3 mm으로 하였다. 침전극의 곡률반경을 0.3 mm로 한 것은 침전극의 곡률반경이 커지면 그에 따른 축적 전하량이 상대적으로 많아져 침전극의 가장 가까운 부근에서 평등전계가 형성될 수 있으므로 침전극의 전장집중계수를 계산하여 시험 챔버내에서 실험에 필요한 불평등 전계가 형성되도록 0.3 mm로 하였다[6]. 또한 평판의 직경은 60 mm이였고, 두께는 10 mm, 모서리 곡률반경은 1.5 mm, 전극간 거리는 3 mm로 하였다. 일반적으로 실용적인 측면에서 GIS나 GIL 등에서 전극의 구조 모양 및 금속 이물질 등이 존재할 경우에 불평등 전계가 형성되어 순수한 SF_6 가스의 절연 성능이 저하된다. 따라서 불평등 전계 조건에서 실험 하기 위하여 침대 평판 전극 구조로 실험을 하였다. 챔버의 내부 공간은 직경 270 mm, 외부 직경 480 mm, 높이 180 mm로 구성된 원형 챔버로 SF_6 / CF_4 혼합가스의 절연파괴와 PD 특성 실험용으로 설계 제작되었다. 압력은 0.1 Mpa ~ 0.5 Mpa 으로 하였으며, AC 전압은 최대 100 kV의 고전압 변압기(60 Hz)로 실험 하였다. 또한 실험에 사용한 임펄스 전압(1.2 x 50 μs 표준파형)은 3스테이지 막스형 임펄스 발생장치로 실험 하였다. 절연파괴 전압은 정전용량 분배기를 통한 고전압 탐침(P6015A, Tektronix)으로 측정하였으며, PD 개시전압은 AC (60 Hz) 전압 하에서 임피던스 매칭을 통해 PD 검출기(LDS-6, LDIC)을 사용하여 측정하였다. PD 검출기는 부분방전 신호를 인가전압의 위상 (Φ), 위상에 따른 방전량 (Q), 위상에 따른 방전횟수(N)로 측정하기 위한 장치이다. 가스의 혼합비는 Flow Meter의 유량을 통해 혼합가스의 비율을 조절하였다. 그리고 SF_6 가스와 CF_4가스 외에 기타 공기 등 불순물이 섞이지 않도록 하기 위하여 진공펌프(SINKO KIKO, pumping speed : 120 L/m, 최대 진공도 : 6.7 x 10^{-2} Pa)를 사용하였다.

2.2 실험방법

침 대 평판 구조에서 60 Hz의 AC 고전압과 임펄스전압을 이용하여 SF_6 / CF_4 혼합가스의 절연파괴실험과 AC 전원을 이용하여 전극에서의 PD 특성 실험을 수행하였다.

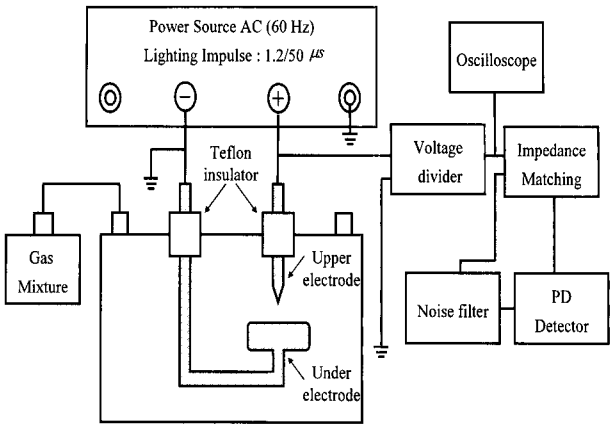

그림 1 실험장치의 개략도
Fig. 1 A schematic diagram of the experimental setup

실험에 앞서 우선 챔버 내부의 이물질을 제거하기위해 메탄올로 깨끗이 청소한 후 제작된 실험용 챔버 내부를 1.33 x 10^{-6} Mpa에 대한 진공펌프에 의해 챔버 안의 공기를 챔버 밖으로 10^{-1} Torr까지 배출시켰다. 그리고 실험에 사용된 가스는 상용 등급 99.99%의 순도를 가진 SF_6 가스와 CF_4 가스를 사용하였다. 가스의 혼합은 볼 타입의 Flow Meter를 지닌 가스혼합기(Crown, MX-2S)를 이용하여 가스혼합기내의 압력게이지 및 Flow Meter의 유량조절밸브를 통해 실험하고자 하는 혼합비율로 조절한 후 가스를 챔버 안으로 넣었다. 먼저 PD 실험을 위하여 각 PD 검출장치를 연결하고 용량성 분압기(maximum voltage: 100 kV, Capacitance: 1 nF)의 양단에 연결하여 50 pC의 기본전하량으로 PD 장비를 교정하였다. 교정 후 Charge Calibrator를 떼어낸 후 AC 전압(60 Hz)을 인가하여 전압교정을 실시하였다. 측정 장비는 차폐함 안에 내장하였으며 절연변압기를 사용하여 외부에서 발생하는 잡음 및 외란의 영향을 최소화하였다. 전압을 인가하고 부분방전이 발생하면 PD 장치에 연결된 컴퓨터를 통해 데이터를 직접 전송받아 분석하였다. 이때 혼합가스의 가스 압력의 범위는 0.1 Mpa에서 0.5 Mpa까지이다. 절연파괴 실험은 저항형 분압기(maximum voltage: 600 kV, 75 Ω /8.1 kΩ)를 통해 AC전압을 인가하여 일정한 속도(0.5 kV/s)로 절연파괴가 발생할 때까지 상승시켰다. 가스 주입 후 전극의 표면을 안정화하기 위해 몇 차례 방전을 시킨 후 실험하였다. 실험 시 60 Hz AC전압의 상승속도는 0.5 kV/s로 일정하게 증가시켰으며, 방전 후 가스의 안정화를 위해 일정한 시차간격을 두고 실험하였다. 실험결과에 나타낸 절연파괴전압은 동일 조건에서 10번의 AC절연파괴실험 후 평균값으로 환산하여 나타내었다. PD실험은 전압의 상승속도를 일정히 하면서 PD신호가 발생했을 때의 전압을 10회 측정하여 이것의 평균값으로 나타내었으며, 그리고 각 시차는 2분 간격으로 하였다. PD검출기는 PD실험 후 전압 측정기와 부하에 의해 측정하였다. 임펄스절연파괴전압 실험은 정·부극성 실험으로 나누어 실험하였으며 승강법을 통하여 20번의 절연파괴점을 찾았다. 실험 간격은 역시 2분 간격을 두고 전압을 인가하였다. 각 실험 후 챔버 내부를 다시 깨끗이 닦아낸 후 질소가스를 통해 챔버 내부의 남은 가스를 제거하여, 다른 실험 시 잔류가스에 의한 영향을 최소화하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 침대 평판 전극에서 SF_6/CF_4 혼합 가스의 절연내력

그림 2에서 그림 6까지는 침대평판 전극 하에서 SF_6 / CF_4 혼합가스의 변화에 따른 AC 전압과 뇌 임펄스(LI)의 정·부극성 절연파괴 전압을 0.1 Mpa에서 0.5 Mpa 까지의 압력 범위에서 나타낸 것이다. 이 때 침대 평판 전극에서 혼합가스 차등비율에 따른 절연파괴 전압을 침대 평판 전극 간격을 3 mm로 고정시켰고, 압력 상승에 따라 절연파괴 전압이 어떻게 변화하는지를 조사하였다. 절연파괴전압에 대한 측정은 0%에서 100% 까지 CF_4 가스를 기준으로 SF_6 가스량을 차등 변화 증가시키면서 SF_6 / CF_4 혼합가스에 대하여 조사하였다.

AC전압 하에서 SF6 / CF4 혼합가스의 모든 압력에 대해 0%에서 20%까지 SF6 가스 혼합 비율의 증가와 함께 절연파괴전압이 증가되는 것이 관찰되었으며, 그리고 0.2 Mpa과 0.5 Mpa에서 SF6 가스의 증가율이 80~100% 가 되는 범위에서는 절연파괴 전압의 감소가 있었다. 이것은 SF6 가스와 CF4 가스가 어떤 압력과 혼합 비율에서 상승효과를 가지고 있다는 것을 나타낸다.

임펄스 절연파괴 전압 특성은 각기 정·부극성의 양극성 전압으로 실험하여 얻어지게 하였다. 임펄스 부극성내에서의 절연파괴 전압은 0.1 Mpa에서 임펄스 정극성 절연파괴 전압과 유사하였다. 그러나 임펄스 부극성 절연파괴 전압은 0.2 Mpa와 0.5 Mpa에서는 임펄스 정극성 절연파괴전압보다 높았다. 이것은 공간전하에 의한 효과로 설명 할 수 있다. 정극성일 때 침과 가까운 고전계 영역에서 전자와 양이온의 이동도 차이로 인해 정극성의 침 전극 주변이 전계가 더 높아지게 되어 원래의 전계가 왜곡되게 되어 절연파괴가 나타나게 된다. 또한 동일한 조건에서 AC 전압과 비교하여 임펄스 전압이 더 높게 나타나는 것은 60 Hz의 주파수에서는 정극성 임펄스파형에 비해 침 전극 주변에 공간전하를 충분히 형성하였다가 다시 공간전하들이 전계를 따라 이동하기에 충분한 시간이 있기 때문에 절연파괴전압이 더 낮은 것으로 추측된다. 또한 압력이 낮아질수록 정극성과 AC 절연파괴 전압이 거의 비슷해지는 것은 압력이 낮아질수록 공전전하를 형성할 수 있는 전하들의 양이 적어지기 때문에 AC 절연파괴전압과 거의 비슷한 특성을 나타내는 것으로 생각된다. SF6 가스는 불평등전계에서 AC 전압을 인가하였을 때 평등전계와는 달리 압력이 높아져도 절연내력이 압력에 비례하여 상승하지 않았다. 0.4 MPa의 압력에서 28 kV의 절연파괴전압을 나타냈지만, 오히려 더 높은 압력인 0.5 MPa에서는 8% 낮은 24 kV의 절연파괴전압을 나타내었다. 이러한 이유는 불평등전계에서 특정한 가스의 압력조건에서 전극의 불평등 전계에 따라 코로나 안정화 효과가 나타나기 때문이다. 다시 말해 이와 같은 현상은 임펄스 부극성 전압에서 압력이 상승함에 따라 침 전극 앞단의 공간전하의 확산에 의한 소멸이 억제되는 전장 안정화 작용으로 인하여 절연파괴 전압과 초기 PD개시전압이 더 증가함을 나타낸다고 볼 수 있었다. 전체적으로 이와 같은 특성은 CF4 가스도 전자부착 가스이지만 전자부착력이 낮아서 압력의 상승에 비해서 절연 파괴 전압은 많이 상승하지 못한다.

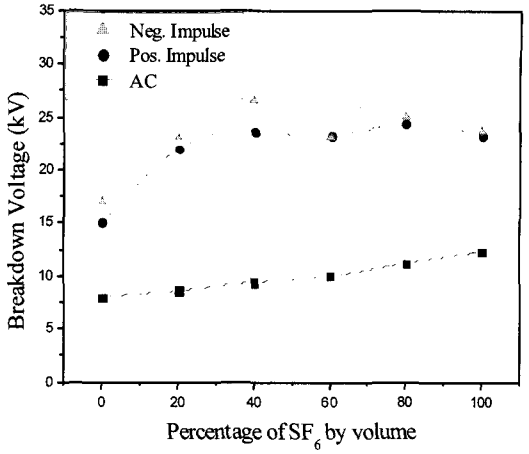

그림 2 0.1 Mpa에서 SF_6/CF_6 혼합가스의 절연파괴 전압

Fig. 2 Breakdown voltage for varying SF_6/CF_4 mixtures at 0.1 Mpa

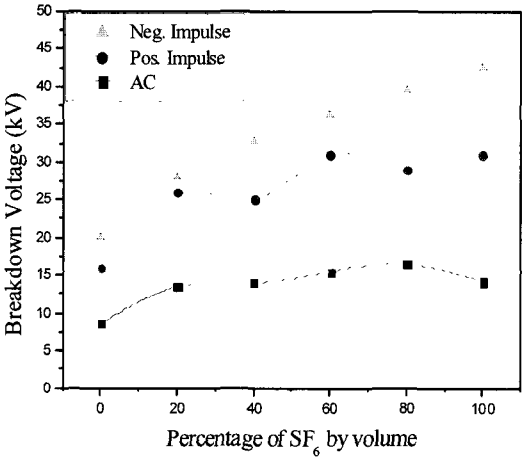

그림 3 0.2 Mpa에서 SF_6/CF_4 혼합가스의 절연파괴 전압

Fig. 3 Breakdown voltage for varying SF_6/CF_4 mixtures at 0.2 Mpa

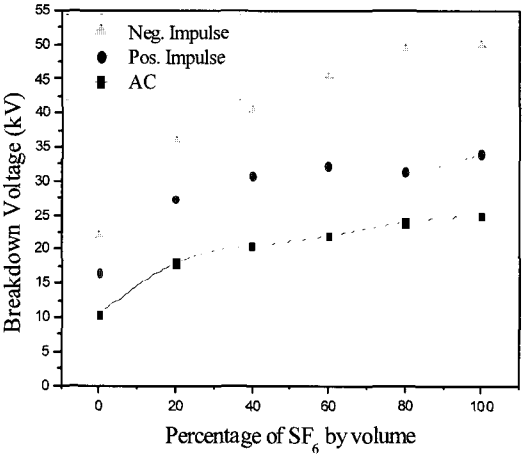

그림 4 0.3 Mpa에서 SF_6/CF_4 혼합가스의 절연파괴 전압

Fig. 4 Breakdown voltage for varying SF_6/CF_4 mixtures at 0.3 Mpa

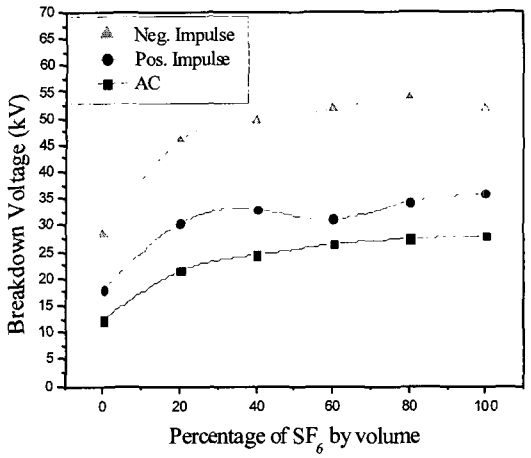

그림 5 0.4 Mpa에서 SF_6/CF_4 혼합가스의 절연파괴 전압
Fig. 5 Breakdown voltage for varying SF_6/CF_4 mixtures at 0.4 Mpa

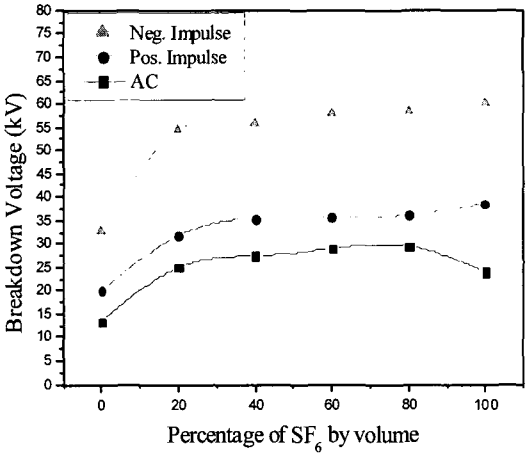

그림 6 0.5 Mpa에서 SF_6/CF_4 혼합가스의 절연파괴 전압
Fig. 6 Breakdown voltage for varying SF_6/CF_4 mixtures at 0.5 Mpa

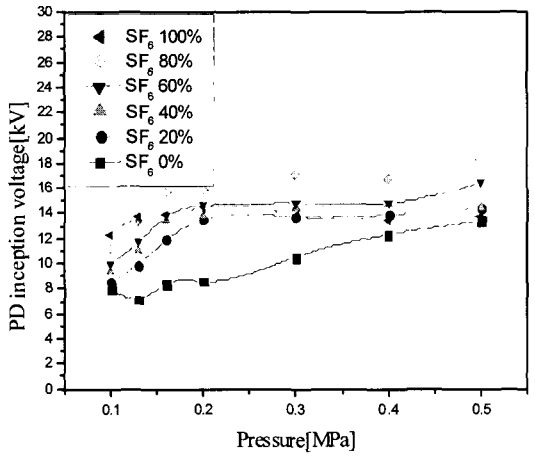

그림 7 SF_6/CF_4 혼합가스에서의 가스압력에 대한 PD 특성
Fig. 7 PD characteristic of SF_6/CF_4 mixtures

3.2 침대 평판 전극에서의 SF_6/CF_4 혼합가스의 PD특성

침대 평판 전극 하에서는 침 전극의 끝 부근에서 국부적으로 전계가 집중하게 되어 이 부분에서 부분적인 절연파괴 현상이 발생하게 된다. 실용의 고전압 기기에서는 이러한 국부적인 부분방전이 일어나기 때문에, 이것을 이해하는 것은 매우 중요하다.

그림 7은 침대 평판을 통해 불평등 전계를 모의하여 전극간 거리 3 mm에서 AC 전압을 인가하여 PD발생전압을 측정한 것을 나타낸 것이다. 이 때 SF_6 / CF_4 혼합가스의 PD 특성은 침대 평판 전극 하에서 SF_6 / CF_4 혼합가스의 압력 변화에 의해서 조사하였으며, 그 조사 결과를 SF_6 / CF_4혼합가스의 압력에 대해 PD 개시전압으로 나타내었다. 순수 SF_6 가스와 SF_6 / CF_4 혼합가스의 PD 개시전압은 0.2 Mpa 이상의 높은 압력 증가에 의해서 거의 같은 전압으로 나타났다. 그러나 0.1 Mpa과 0.2 Mpa 사이에서는 점차적으로 증가한다. CF_4 가스의 경우에 있어서 PD 개시전압은 압력 증가에 의해서 천천히 증가되었다. 그리고 SF_6 / CF_4 혼합가스의 경우 SF_6 가스가 좋은 전자 부착특성을 가지고 있기 때문에 순수 CF_4 가스보다 높게 나타난다. SF_6 가스의 PD 개시전압은 0.13 Mpa 이하에서 다른 SF_6 / CF_4 혼합가스와 CF_4 가스보다 높게 나타나지만 0.3 Mpa 이상에서는 40% SF_6 / 60% CF_4 보다 낮은 PD 특성을 보였으며, 0.16 MPa 이상일 경우에는 순수한 SF_6 가스보다 SF_6 80% / CF_4 20% 일 경우가 제일 큰 PD 개시전압을 나타내었다. 순수 SF_6 가스의 PD 개시전압은 CF_4 가스를 20% 혼합하는 것으로 13.4%의 성능 향상이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 절연파괴전압은 PD가 순수 CF_4 가스에서 발생되자마자 일어난다. AC 절연파괴 실험의 경우 압력이 증가함에 따라 AC 절연파괴 전압이 상승하는 경향을 보였지만, PD 개시전압은 순수 CF_4 가스를 제외하고 SF_6 / CF_4 혼합가스에서 0.2 Mpa 이상의 압력에서는 거의 비슷한 PD 개시전압을 나타내었다.

3.3 침대 평판 전극에서의 SF_6/CF_4 혼합가스의 PD 패턴 실험

그림 8에서 그림 10까지는 0.5 Mpa에서 SF_6 / CF_4혼합가스의 PD 패턴이다. 침대 평판 전극구조에 AC 전압을 인가하였을 때, 교류전압의 한 주기에서는 PD가 발생하는 위상영역이 존재하게 된다. 60 Hz 상용주파수의 교류가 전극에 가해진 경우에는 각 반주기마다 양성과 음성 PD가 극성에 의해 발생하게 된다. 그리고 PD의 경우 주로 전압파형이 90° 및 270° 위상 영역에서 발생하며, 그 외의 위상에서는 노이즈나 다른 이물질 등에 의해 발생된 것으로 추측된다.

PD발생은 SF_6 가스의 비율이 높아질수록 낮은 방전량 보다 높은 방전량 영역에서 많이 분포하는 경향을 나타낸다. SF_6 가스는 0.01 eV이하의 낮은 에너지대부터 시작되는 부착단면적을 시작으로 20 eV사이에 약 5개의 부착단면적이 존재하여, 다른 가스에 비해 낮은 에너지대에서 높은 부착단면적을 가지는 특징이 있고, CF_4 가스의 경우는 약 3~15 eV 사이에 부착단면적이 존재하며 7 eV에서 최대값을 가지고 있다[8]. 따라서 PD가 발생되었을 때 낮은 에너지대에서 높은 부착단면적을 가지는 SF_6 가스의 전자부착특성으로 인

하여 SF_6 가스 비율이 증가할수록 방전량 분포중심은 낮은 영역에서 높은 영역으로 이동하여 많이 분포하는 경향을 나타내었다.

그림 8에는 20% SF_6 / 80% CF_4 혼합가스의 PD 패턴을 나타내었는데, PD 전압은 방전량(Q)이 낮은 영역(100~200 pC)에서 많이 발생하고, 양의 반주기의 경우 그 분포중심이 90° 위상 영역 부근에서 작은 부분방전이 검출되고, 음의 반주기의 경우에는 270° ~ 360° 위상 영역 부근에서 검출되었다. 전체적으로 PD는 양의 반주기가 음의 반주기의 부분방전에 비하여 작은 부분방전이 많으며, 음의 반주기에서는 270° 위상영역에서 가장 크게 그 분포중심이 발생되는 것이 검출되었다.

그림 9에서는 80% SF_6 / 20% CF_4 혼합가스의 PD패턴을 나타내었는데, 이때 PD 전압은 주로 방전량(Q)이 높은 영역에서 많은 발생하고, 양의 반주기의 경우 90° 위상영역 부근과 음의 반주기의 경우 270° 위상영역 부근에서 비슷한 형태로 검출되었다. 이는 SF_6 가스의 비율이 높아짐에 따라 방전량이 낮은 영역에서는 방전량이 높은 영역으로 PD 발생이 이동하는 것을 알 수 있다.

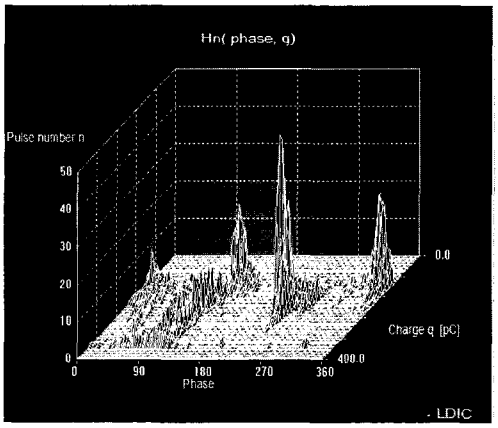

그림 8 0.5 Mpa에서 20% SF_6/80% CF_4 혼합가스의 PD패턴
Fig. 8 PD in 20% SF_6/80% CF_4 mixtures at 0.5 Mpa.

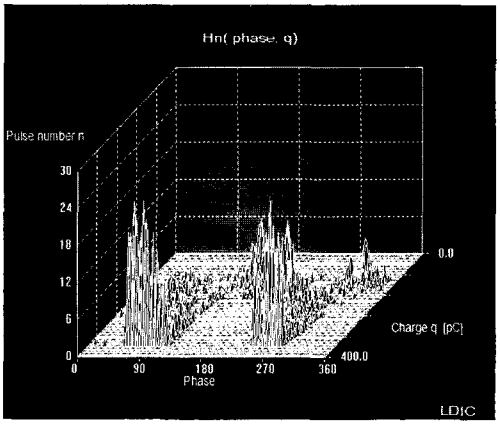

그림 9 0.5 Mpa에서 80% SF_6/20% CF_4 혼합가스의 PD패턴
Fig. 9 PD in 80%SF_6 / 20%CF_4 mixtures at 0.5 Mpa.

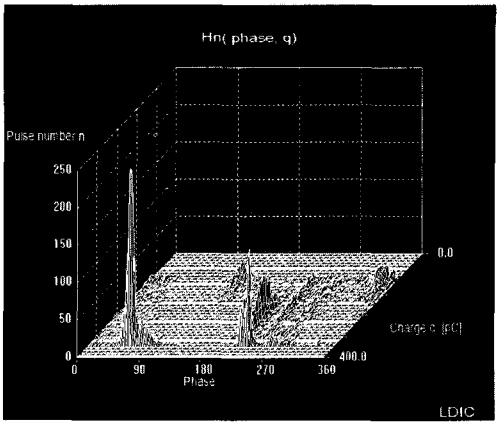

그림 10 0.5 Mpa에서 순수 SF_6 가스의 PD패턴
Fig. 10 PD pattern in pure SF_6 at 0.5 Mpa.

그림 10에서는 순수 SF_6 가스의 PD 패턴을 나타내었는데, PD 전압은 방전량(Q)이 400 pC이상의 높은 영역에서 검출되었으며, 양의 반주기의 경우 90° 위상영역 부근에서 작은 PD등이 거의 없이 가장 높고, 음의 반주기의 경우 270° 위상영역 부근에서 작은 PD들이 검출되었다.

5. 결 론

본 연구는 현재 고전압 절연장치 등 많은 중전기 분야에서 사용하고 있는 SF_6 가스의 단점인 불평등 전계에서의 절연내력 저하, 높은 온난화지수, 낮은 액화온도 등의 문제점을 보완하기 위해 PFC 계열 가스 중 CF_4 가스를 혼합하여 불평등전계에서 60 Hz AC 고전압과 1.2 x 50 μs 임펄스전압을 인가하여 절연내력을 실험하였으며 다음과 같은 결론을 내렸다.

1) 침대 평판 전극에서 절연파괴 전압은 SF_6 가스의 첨가에 의해 증가되었고, 부극성 임펄스 절연파괴 전압은 정극성 임펄스전압보다 높다. 그리고 절연파괴 전압은 0.2 Mpa을 넘는 정, 부 임펄스전압사이에서 달랐다.

2) PD 개시전압은 0.1과 0.2 Mpa 사이에서 점차적으로 증가하였으며, 그리고 SF_6 / CF_4 혼합가스 내에서 0.2 Mpa을 넘는 거의 같은 PD개시전압이었다. 80% SF_6 / 20% CF_4 혼합가스의 PD 개시전압은 순수 SF_6 가스보다 높았다.

3) SF_6 / CF_4 혼합가스에 임펄스전압을 인가 시 절연파괴전압은 순수 CF_4 가스보다 SF_6 20% / CF_4 80%가스일 때 급격히 상승하였지만, 추가적으로 SF_6가스의 함량을 높여도 절연내력상승은 미미하였다.

4) 침-평판 전극구조의 불평등전계에서 AC 절연파괴특성은 SF_6가스의 함량이 높아질수록 절연파괴전압이 높아지는 경향을 보였으나, 0.5 MPa의 경우 오히려 100% SF_6가스보다 SF_6 80% / CF_4 20% 일 때가 더 높은 절연파괴전압을 보였다.

5) PD패턴에서 PD 발생은 SF_6 가스의 비율이 높아짐에 따라 방전량(Q)의 형태는 낮은 방전량 영역보다 높은 방전량 영역에 많이 분포하였으며, 그리고 양의 반주기의 경우 90° 위상영역에서 작은 PD이 없는 최대 PD이 발생하였고, 음의 반주기의 경우는 270° 위상영역에서 작은 PD이 검출되는 것을 볼 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] V. N. Maller and M. S. Naidu, "Advances in High Voltage Insulation And Arc Interruption in SF_6 And Vacuum", Pergamon press, pp.1 - 20, 1981.

[2] Th. Hinterholzer, W. Boeck. " Breakdown in SF6 influenced by Corona-Stabilization" IEEE, Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 413-416, 2000.

[3] Y. Qiu, and Y. P. Feng, "Investigation of SF_6-N_2, SF_6-CO_2 and SF_6-air as substitutes for SF_6 insulation", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vol. 2, p. 766, 1996.

[4] 황청호, 박신우, 김남렬, 허창수. " ,평등전계에서 SF_6 / CF_4 혼합가스의 AC 절연내력특성, 한국전기전자재료학회지, Vol. 20, No. 4, p. 381, April 2007.

[5] B. Gravendeel, P. C. T van der Laan and FJ de Hoog, " External discharge currents in inhomogeneous field configurations " J, Phys, D: Appl, Phys, Vol. 21, pp. 437-441, 1988.

[6] Andrej Krivda, " Recognition of Discharge-Discrimination and Classification", Delft Univ. Press, pp. 11-25, 1995.

[7] 송병두, 하성철, "볼츠만 방정식에 의한 CF_4 분자가스의 전자이동속도특성에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, Vol. 17, No. 11, p. 1254, 2004.

[8] 서상현, 유회영, 김상남, 하성철, " SF_6 가스의 전리 및 부착계수에 관한 연구", 조명전기설비학회지 Vol. 10, No. 6, p. 622, 1996.

[9] 황청호, 성허경, 허창수. " 불평등 전계에서 SF_6/CF_4 혼합가스의 SLI, AC 절연내력특성" 대한전기학회논문지, Vol. 57, No, 2, pp. 245 - 251, 2008.

[10] G.J.Cliteur, Y.Hayashi, E.Haginomori, K.Suzuki, "Calculation of the uniform breakdown field strength of SF_6 Gas", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 6, p. 847, 1998.

[11] V.A.Lisovskiy and V. D. Yegorenkov, " Electron-drift velocity determination in CF_4 and SF_6 in a strong electric field from breakdown curves of low-pressure RF discharge", Appl. Phys. 32, p. 2647, 1999.

[12] J. Berg, E. Kuffel, "Breakdown voltage characteristics of SF_6 / CF_4 mixtures in uniform and non-uniform field gaps", Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Conf, pp. 126 - 129, 1995.

[13] W. Ziomek, E. Kuffel "Breakdown and Prebreakdown Characteristics of SF_6 / CF_4 Mixtures in Non-uniform Electric Field", High Voltage Engineering, Eleventh International Symposium on Conf. Vol 3, pp. 240 - 243, 1999.

저 자 소 개

황 청 호 (黃 靑 虎)

1958년 7월 1일생. 2000년 서울산업대 제어계측학과 졸업. 2002년 인하대 공학대학원 전기공학과 졸업 2002년~현재 동 대학원 박사과정

Tel : 032-860-7408

Fax : 032-860-5822

E-mail : hch7642@hanmail.net

성 허 경 (成 許 慶)

1981년 1월 4일생. 2006년 인하대학교 전기공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 032-860-7408

Fax : 032-860-5822

E-mail : sunghg3@hotmail.com

허 창 수 (許 昌 洙)

1955년 1월 27일생. 1981년 인하대 전기공학과 졸업. 1983년동대학원 전기공학과 졸업(공박). 1993년~현재 인하대 전기공학과 교수

Tel : 032-860-7408

Fax : 032-860-5822

E-mail : cshuh@inha.ac.kr